

высокой мощности / С. Валиев, Д-р Юрген Шульц-Хардер // Силовая электроника. – 2005. – №3. – С.92-95.

5. Ким Сукер. Силовая электроника: руководство разработчика. – М.: Изд. дом «Додэка – XXI», 2008. – 252 с.

6. Регулирование скорости вращения двигателей с помощью преобразователей частоты ALTIVAR. Рекламный материал Schneider electric. <http://www.s-e.com.ua>.

7. Зобов И.Б., Герасимов Д.В., Гилев Ю.А. Системы частотного регулирования на базе преобразователей частоты с водяным охлаждением / И.Б. Зобов, Д.В. Герасимов, Ю.А. Гилев // Теплоэнергоэффективные технологии. – 2007. – №2. – С.65-69.

Отримано 31.10.2011

УДК 621.131

М.В.ЧЕРНЯВСКАЯ, И.Т.КАРПАЛЮК, М.Л.ГЛЕБОВА, кандидаты техн. наук
Харьковская национальная академия городского хозяйства

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ПОГРЕШНОСТИ АМПЛИТУД ВЫСШИХ ВРЕМЕННЫХ ГАРМОНИК ТОКОВ ВЕНТИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

По статистическим моделям определены величины относительной погрешности при замене реальной кривой фазного тока статора вентильного двигателя постоянного тока на идеализированную, а также уровни высших гармоник в зависимости от параметров вентильного двигателя постоянного тока.

За статистичними моделями визначено величини відносної погрешності при заміні реальною кривою фазного струму статора вентильного двигуна постійного струму на ту, що ідеалізується, а також рівні вищих гармонік залежно від параметрів вентильного двигуна постійного струму.

On statistical models the sizes of relative error are certain at substituting the real curve of phase current of stator of valve engine of direct-current by idealized, and also levels of ultra-harmonics depending on the parameters of valve engine of direct-current.

Ключевые слова: синхронная машина, вентильный двигатель, система дифференциальных уравнений.

В теории вентильных двигателей широко используются приближенные описания фазного тока в виде трапециидальной функции времени. На этом предположении получены многие аналитические выражения для добавочных потерь, пульсирующих составляющих моментов, статических характеристик вентильных двигателей постоянного тока (ВДПТ). Поэтому, представляется целесообразным проводить анализ не только собственно гармонического состава токов ВДПТ, но и погрешности его определения по отношению к идеализированной трапециидальной кривой. Такой подход даст возможность предложить более простые и, в то же время, более точные модели, позволяющие откорректировать приближенные зависимости.

Для трапеции, после разложения в ряд Фурье, амплитуды высших временных гармоник (ВВГ) можно найти по формуле

$$I_{\mu\tau} = \frac{8}{\pi\gamma_k} \cdot I_d \cdot \frac{\sin(\mu\gamma_k/2)}{\mu^2} \cdot \cos(\mu\pi/6), \quad (1)$$

где γ_k – угол коммутации; I_d – амплитуда основной гармоники; μ – номер гармоники ($\mu = 6n \pm 1, n = 1, 2, \dots$).

Величину относительной погрешности определим в виде:

$$\Delta\mu = \frac{\sum_{\mu} I_{\mu}^2 - \sum_{\mu} I_{\mu\tau}^2}{\sum_{\mu} I_{\mu\tau}^2}, \quad (2)$$

где $\sum_{\mu} I_{\mu}^2, \sum_{\mu} I_{\mu\tau}^2$ – сумма квадратов высших гармоник по реальной и

трапециидальной форме кривой тока соответственно. Реальная кривая тока вентильного двигателя существенно отличается от идеализированной, что подтверждается данными таблицы, рассчитанными по математической модели [1, 2], путем их сравнения с трапециидальной формой кривой тока статора по формуле (2). В таблице приведена также величина относительной погрешности $\Delta 1\mu$, рассчитанная по формуле (2) с разницей в том, что для ВДПТЗ $\Delta 1\mu$ включает лишь пятую и седьмую гармоники ($\mu = 5, 7$), а при ВДПТ6 – все то же – лишь $\Delta 1\mu$ включает одиннадцатую и тринадцатую гармоники ($\mu = 11, 13$). В подтверждение необходимости определения величины относительной погрешности при учете высших временных гармоник тока статора ВДПТ, рассмотрим крайние значения $\Delta\mu$ и $\Delta 1\mu$ для ВДПТЗ и ВДПТ5, в зависимости от двух групп факторов по таблице. Так, для ВДПТЗ значения крайних точек относительной погрешности равны:

а) для первой группы факторов ($\beta_0, x_{\partial p}, i_f, i_d$)

$$\Delta\mu_{\max} = 0,74 \text{ (14.)} \quad \Delta 1\mu_{\max} = 1,19 \text{ (14.)}$$

$$\Delta\mu_{\min} = 0,08 \text{ (10.)} \quad \Delta 1\mu_{\min} = 0,13 \text{ (10.)},$$

где в скобках указан номер опыта, по данным которого получены соответствующие величины относительной погрешности (таблица).

б) для второй группы факторов ($x_{\sigma}, x_{\sigma\partial}, x_{ad}$)

$$\Delta\mu_{\max} = 0,49 \text{ (13.)} \quad \Delta 1\mu_{\max} = 0,83 \text{ (13.)}$$

$$\Delta\mu_{\min} = 0,21 \text{ (2.; 14; 15)} \quad \Delta 1\mu_{\min} = 0,25 \text{ (15.)}.$$

При 6-фазной обмотке статора ВДПТ значения крайних точек относительной погрешности в свою очередь равны:

а) для первой группы факторов ($\beta_0, x_{dp}, i_f, i_d$)

$$\Delta\mu_{\max} = 3,45 \text{ (1.)}$$

$$\Delta 1\mu_{\max} = -0,76 \text{ (1.)}$$

$$\Delta\mu_{\min} = 0,062 \text{ (10.)}$$

$$\Delta 1\mu_{\min} = -0,14 \text{ (5.);}$$

б) для второй группы факторов ($x_{\sigma}, x_{\sigma 1,2}, x_{\sigma db}, x_{ad}$)

$$\Delta\mu_{\max} = 0,73 \text{ (1.)}$$

$$\Delta 1\mu_{\max} = -0,51 \text{ (1.)}$$

$$\Delta\mu_{\min} = 0,18 \text{ (14.)}$$

$$\Delta 1\mu_{\min} = -0,24 \text{ (11.).}$$

Знак «-» в относительной погрешности $\Delta 1\mu$ в ВДПТ6, наблюдаемый во всех 16 опытах по каждой группе факторов, указывает на то, что трапециидальная замена формы кривой тока сказывается на учете гармоник $\mu = 12n \pm 1, (n = 1)$ в сторону резервирования от сумм амплитуд гармоник реального фазного тока. Все данные, приведенные в таблице (если умножить на 100), представляют собой выражения величин относительной погрешности в процентах. Определение ВВГ по трапеции, в ряде случаев, недопустимо, из-за чрезмерно большой величины относительной погрешности, которая может достигать 345% (см. таблицу, опыт №1, ВДПТ6; первая группа факторов – $\beta_0, x_{dp}, i_f, i_d$), что в конечном итоге приводит к явному занижению реального уровня высших временных гармоник тока статора ВДПТ. Для возможности корректировки относительной погрешности расчета уровня ВВГ по трапеции дальнейший этап обработки полученной информации заключается в получении постоянных статистических коэффициентов уравнений, описывающих функциональную зависимость у на всех принятых интервалах варьирования.

Величина относительной погрешности при замене реальной формы кривой тока статора на трапецию								
Фактор	трехфазная обмотка – ВДЗ-				шестифазная обмотка – ВД6-			
	$\beta_0, x_{dp}, i_f, i_d$		$x_{\sigma}, x_{\sigma db}, x_{ad}$		$\beta_0, x_{dp}, i_f, i_d$		$x_{\sigma}, x_{\sigma 1,2}, x_{\sigma db}, x_{ad}$	
№ опыта	$\Delta\mu$	$\Delta 1\mu$	$\Delta\mu$	$\Delta 1\mu$	$\Delta\mu$	$\Delta 1\mu$	$\Delta\mu$	$\Delta 1\mu$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0.41	0.58	0.41	0.73	3.45	-0.76	0.73	-0.51
2	0.57	0.86	0.21	0.34	2.41	-0.74	0.39	-0.41
3	0.40	0.52	0.23	0.27	1.24	-0.65	0.33	-0.35
4	0.32	0.37	0.29	0.50	1.24	-0.58	0.51	-0.46
5	0.22	0.21	0.42	0.70	0.19	-0.14	0.51	-0.48
6	0.19	0.32	0.27	0.40	0.16	-0.23	0.30	-0.32
7	0.55	0.94	0.22	0.30	1.54	-0.63	0.30	-0.28
8	0.15	0.25	0.32	0.49	0.22	-0.25	0.43	-0.41

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8	
9	0.11	0.13	0.39	0.63	0.08	-0.15	0.46	-0.42
10	0.08	0.13	0.28	0.43	0.06	-0.16	0.32	-0.28
11	0.14	0.28	0.26	0.38	0.13	-0.24	0.30	-0.24
12	0.14	0.26	0.30	0.47	0.17	-0.21	0.40	-0.37
13	0.40	0.66	0.49	0.83	1.03	-0.60	0.60	-0.50
14	0.74	1.19	0.21	0.32	1.05	-0.56	0.18	-0.47
15	0.32	0.48	0.21	0.25	0.57	-0.50	0.32	-0.33
16	0.25	0.27	0.29	0.48	0.39	-0.27	0.39	-0.40

Входными параметрами для обработки программой SVD являются матрица A и матрица-столбец исследуемой функции y , на место которой, в данном исследовании, подставлялись в порядке и соответственно таблице, функции величин относительной погрешности. По сути, в таблице имеем для каждого вида эксперимента свою матрицу-столбец y и статистические уравнения можно записать, например, как:

$$y_{(\Delta\mu)} = K_0 \beta_{0*}^{k_1} \cdot x_{\partial p*}^{k_2} \cdot i_{f*}^{k_3} \cdot i_{d*}^{k_4} \quad (3)$$

и, аналогично, для других вариантов сочетания параметров, указанных в таблице.

На рис.1-8 приведены графические зависимости величин относительной погрешности $\Delta\mu$ и $\Delta I\mu$, построенные по уравнениям (4)-(13). Здесь на одном графике представлены столько зависимостей исследуемых функций $\Delta\mu$ и $\Delta I\mu$, сколько факторов. При построении любой зависимости от какого-либо фактора остальные принимают уровень средней точки варьирования и остаются *const* на всем интервале исследования.

Кроме статистических моделей по определению величин относительной погрешности при замене реальной формы кривой тока статора ВДПТ на трапецидальную, представляет интерес также уровень самих высших временных гармоник. Наличие статистических моделей для их определения дает возможность прогнозировать с достаточной точностью величины амплитуд ВВГ без применения сложных математических методов.

Разработанные статистические модели для расчета формы кривой тока якоря отличаются простотой и инженерной применимостью на первом этапе создания ВДПТ.

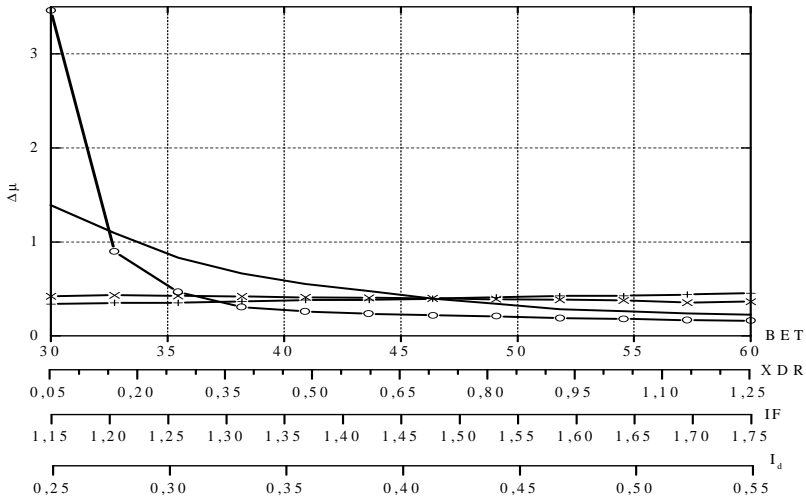


Рис.1 – Величина относительной погрешности $\Delta\mu$ в ВДПТ6 в зависимости от факторов β_0 , x_{dp} , i_f , i_d (---+--- - BET, ---o--- - XDR, ---x--- - IF, ---•--- - I_d)

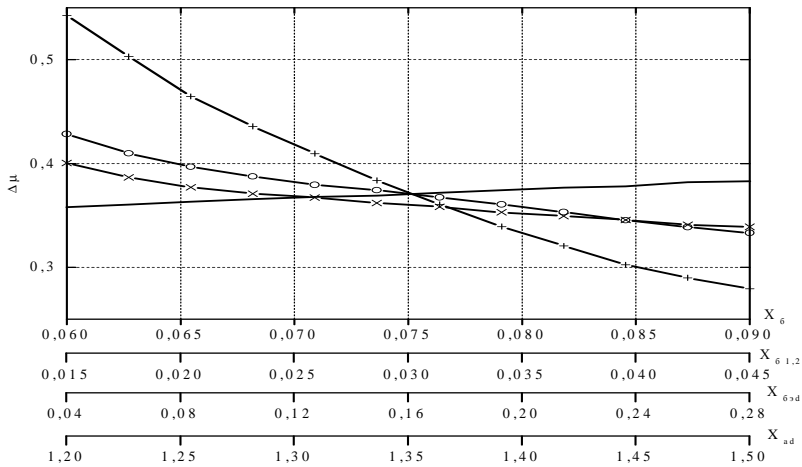


Рис.2 – Величина $\Delta\mu$ в ВДПТ6 в зависимости от x_σ , $x_{\sigma 1,2}$, $x_{\sigma d}$, x_{ad}

(---+--- - x_σ ; ---o--- - $x_{\sigma 1,2}$; ---x--- - $x_{\sigma d}$; ---•--- - x_{ad})

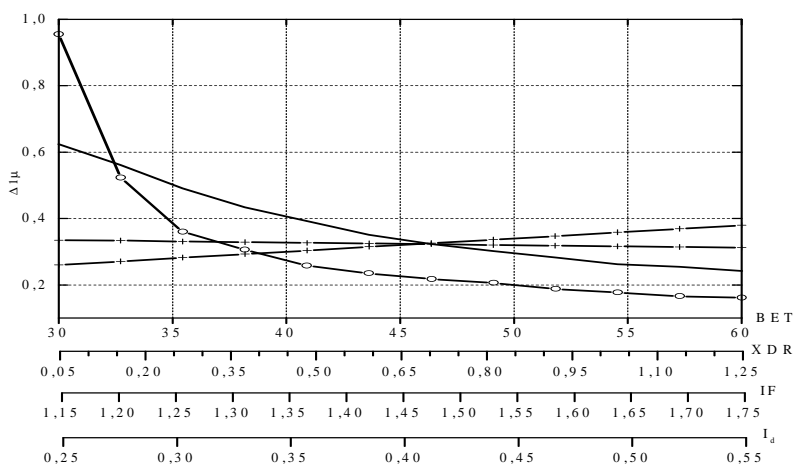


Рис.3 – Величина $\Delta 1\mu$ в ВДПТ6 в залежності від факторів β_0 , x_{op} , i_p , i_d
(---+--- BET; ---o--- XDR; ---x--- IF; ---•--- Id)

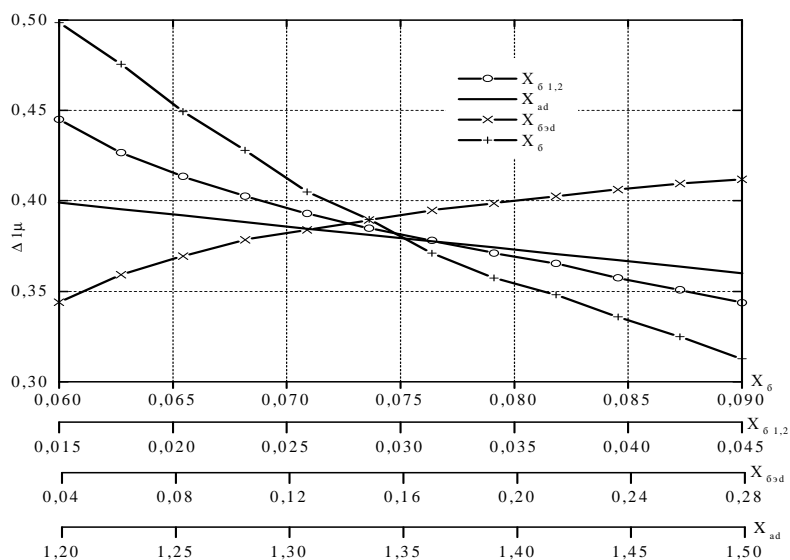


Рис.4 – Величина $\Delta 1\mu$ в ВДПТ6 в залежності від x_σ , $x_{\sigma d}$, x_{ad}

(---o--- $x_{\sigma 1,2}$; —+— x_{ad} ; ---x--- $x_{\sigma d}$; ---+--- x_σ)

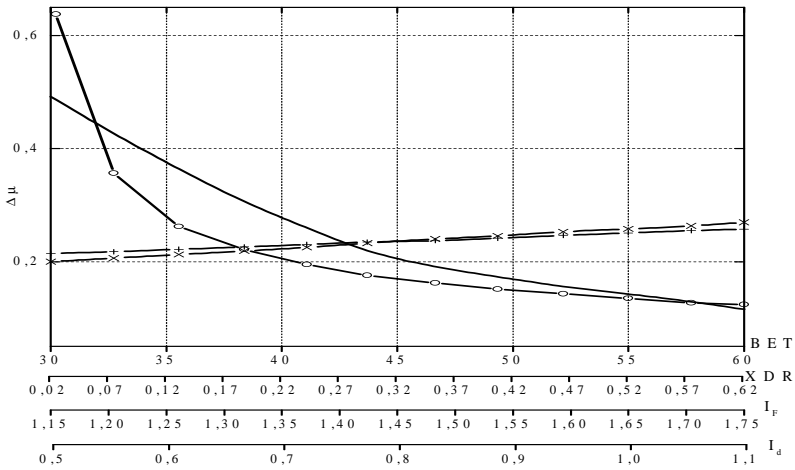


Рис.5 – Величина относительной погрешности $\Delta\mu$ в ВДПТЗ в зависимости от факторов β_0 , $x_{\delta p}$, i_f , I_d (---+--- BET; ---o--- XDR; ---x--- IF; ---•--- I_d)

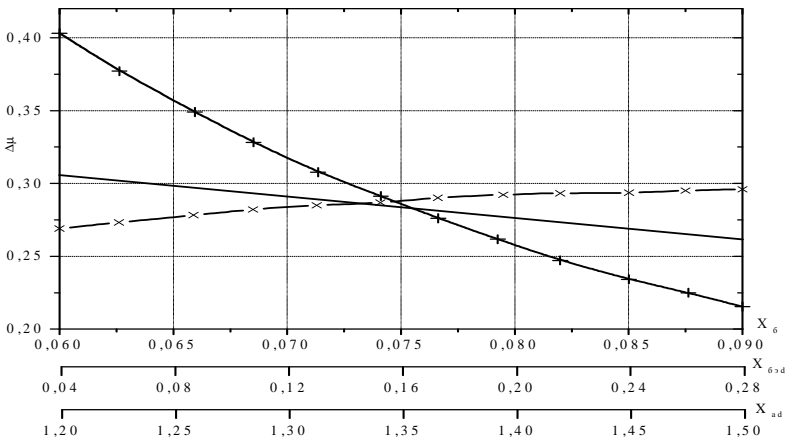


Рис.6 – Величина $\Delta\mu$ в ВДПТЗ в зависимости от факторов x_σ , $x_{\delta d}$, x_{ad}

(---+--- x_σ ; ---x--- $x_{\delta d}$; ---•--- x_{ad})

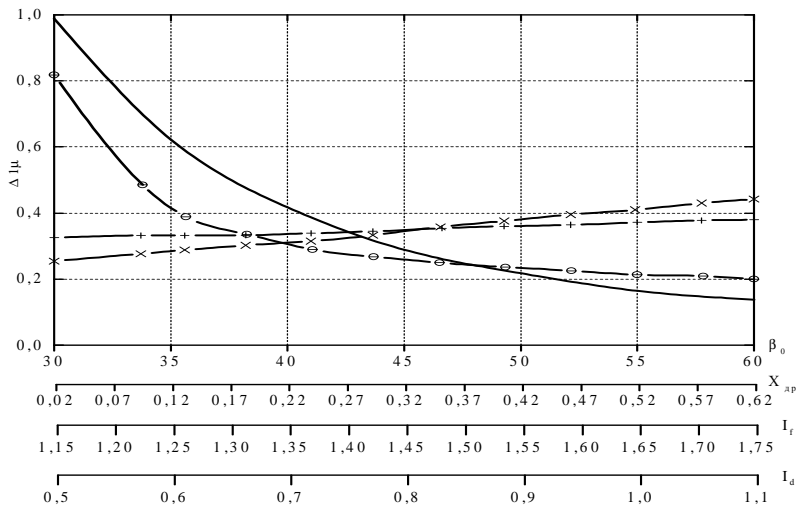


Рис.7 – Величина $\Delta 1\mu$ в ВДПТЗ в зависимости от факторов $\beta_0, x_{ap}, i_f, i_d$
(---+--- BET; ---0--- XDR; ---x--- IF; ---•--- Id)

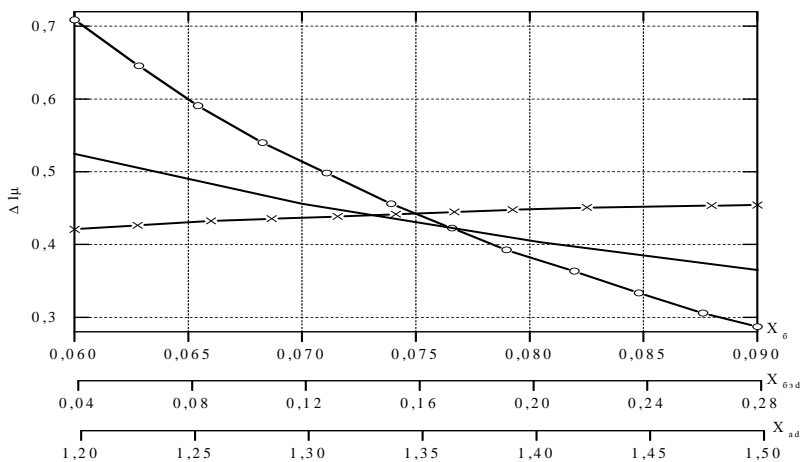


Рис.8 – Величина относительной погрешности $\Delta 1\mu$ в ВДПТЗ в зависимости от факторов $x_\sigma, x_{\sigma d}, x_{ad}$ (---0--- x_σ , ---x--- $x_{\sigma d}$, ---•--- x_{ad})

1. Волчуков Н.П. Цифровое моделирование высокоиспользованных автономных систем электромеханического преобразования энергии: Дисс. ... д-ра техн. наук: 05.09.01. – Харьков, 1996. – 424 с.

2. Математическая модель электромагнитных процессов в вентильном двигателе / А.М.Русаков, А.Н.Соломин, Н.А.Окунеева, И.В.Шатова // Вестник Московского энергетического института. – 2007. – №3. – С.33-40.

Получено 12.11.2011

УДК 621.337 : 621.354

В.Х.ДАЛЕКА, д-р техн. наук, О.В.НЕТЕЦЬКИЙ, О.С.ГОРДИЄНКО

Харківська національна академія міського господарства

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГОМІСЬКОСТІ ВИТРАТ НА ДИСТИЛЬОВАНУ ВОДУ ДЛЯ АКУМУЛЯТОРІВ РУХОМОГО СКЛАДУ МІСЬКОГО ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ

Запропоновано методику розрахунку питомих витрат на дистильовану воду для акумуляторів. Вона може бути використана як для обґрунтування економічної доцільності модернізації систем низьковольтного електроживлення рухомого складу, так і розрахунку параметрів перетворювачів електроенергії, реле-регуляторів.

Предложена методика расчета удельных расходов на дистиллированную воду для аккумуляторов. Она может быть использована как для обоснования экономической целесообразности модернизации систем низковольтного электропитания подвижного состава, так и расчета параметров преобразователей электроэнергии, реле-регуляторов.

In a paper the method of specific charges calculation on the distilled water for accumulators is offered. It can be used both for the modernization financial viability ground of electric transport low-voltage power supply systems and for transformers parameters calculation of electric power, relays-regulators.

Ключові слова: акумулятор, дистильована вода, енергомисткість, електроліз, рівень електроліту, ресурсозберігаючі технології.

Проблемі ресурсозбереження, особливо енергозбереження в останні роки приділяється велика увага на державному рівні [1], де енергозбереження визначене пріоритетним напрямком соціально-економічного розвитку України. Оскільки міський електричний транспорт споживає близько 20% електроенергії від усіх витрат в житлово-комунальному господарстві, тому розробка ресурсозберігаючих технологій, науково-обґрунтованих норм споживання і запасів оборотних засобів є актуальною задачею для підприємств транспорту. Питанням раціонального споживання електроенергії на рух трамваїв та тролейбусів присвячено ряд досліджень [2, 3], але ще недостатньо приділяється уваги до режимів роботи низьковольтних систем живлення рухомого складу.

Тому метою даної статті є визначення енергомисткості витрат на дистильовану воду для акумуляторів, як складової витрат на обслуговування рухомого складу.

На рухомому складі міського електричного транспорту схеми низьковольтного електроживлення побудовані на принципі буферної роботи